GNSS ドップラを活用した都市部におけるレーンレベル位置推定の実現

荒川 拓哉*・高野瀬 碧輝*・水谷 俊介*

滝川 叶夢*・目黒 淳一*

Lane-level Positioning and Vehicle Motion Estimation Based on IMU Error
Using GNSS Doppler for Urban AreaTakuya ARAKAWA*, Aoki TAKANOSE*, Shunsuke MIZUTANI*,
Kaname TAKIKAWA* and Junichi MEGURO*

In this study, by utilizing GNSS Doppler and low cost sensor, we estimate vehicle motion robustly and estimate highly accurate vehicle trajectory even in urban environment where satellite signal deteriorates. In addition, we propose a method that can improve the position accuracy by selecting the positioning result of GNSS using highly accurate vehicle locus. The proposed method intentionally does not estimate fluctuation of the clock error of the receiver, thereby making it possible to use the long distance (several 100 meters) trajectory and has the feature that position estimation accuracy is improved by the averaging effect.

Key Words: multi-GNSS, urban area, positioning, IMU, vehicle trajectory

1. はじめに

自動車運転支援システムおよび自動運転車両では、高精度な車両の位置が求められる^{1), 2)}。そのため、GNSS (Global Navigation Satellite System) が活用されることが多い。しかし、都市部などの遮蔽物が多い空間では、マルチパスの影響が大きく、GNSS 単独測位では数十～数百 m の測位誤差が発生することもある。そのため、常に高精度な位置推定をすることは困難な問題がある。

そこで、GNSS に慣性センサ (IMU: Inertial Measurement Unit) を組み合わせることで、位置精度を向上させる手法が提案されている。しかし、マルチパスによる誤差は環境に依存するため、モデル化をすることが難しい。そのため、Kalman Filter などのガウス分布を前提とするフィルタでは、誤差を低減することが困難である³⁾。そこで本研究では、GNSS ドップラにより推定した車両軌跡の精度が高いことを利用し⁴⁾、低コストセンサを活用しつつ、衛星の環境が劣化する都市部においても、車両運動をロバストに推定し、さらに GNSS の測位結果を選定することで、レーンレベル (一般的な車線幅 3 m に対して、その半分の 1.5 m の精度) の位置推定の実現を目指す。

2. 従来研究

2.1 GNSS/IMU の従来研究

位置推定の従来技術は、GNSS, IMU を統合した GNSS/IMU^{5)~11)}と、Lidar, Camera を活用した SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) に代表される特徴点を活用した手法¹²⁾に大別ができる。双方に特徴があり、また組み合わせ活用することもできるが、本論文では、GNSS/IMU に注目をする。

まず、古典的な手法として、Kalman Filter を用いた Loosely Coupled GNSS/IMU による位置推定手法が知られている⁷⁾。Loosely Coupled GNSS/IMU では、GNSS 受信機から得られる測位結果と、IMU の出力を入力とする。そして、それらの誤差がガウス分布に基づくとして仮定し、位置を連続的に推定する。この手法はモデルが単純であり、計算負荷が軽いので、多くの適用例が見受けられる。しかし、モデル化が困難なマルチパスの誤差には対応できないため、都市部環境下では大きな測位誤差が発生する問題がある^{3), 13)}。

また、GNSS 受信機で測位される前の、疑似距離などの生の観測データと IMU を統合する、Tightly Coupled GNSS/IMU⁸⁾や、受信機が受信した RF (Radio Frequency) のレベルから、IMU と統合する Ultra Tightly Coupled GNSS/IMU も提案されている。これらの手法は、Loosely Coupled GNSS/IMU に比べ、衛星数が減少した場合にも、衛星からの情報も利用した補正が可能な特徴をもつが、同様に Kalman Filter などのガウスフィルタで統合している場合

* 名城大学理工学部 名古屋市天白区塩釜口 1-501

* Faculty of Science and Technology, Meijo University, 1-501
Shiokamaguchi, Tenpaku-ku, Nagoya

(Received February 4, 2019)

(Revised August 28, 2019)

は、マルチパスに起因する誤差に大きな影響を受け、位置推定誤差を低減することができない問題が残っている。

2.2 GNSS ドップラの活用

一方、GPS ドップラを活用して、都市部においても高精度な位置を推定する手法が提案されている⁹⁾。この手法では、ドップラシフト周波数から推定した車両の速度ベクトルを利用し、その直前に走行した軌跡形状を拘束条件として、自車の位置を推定している。文献9)では、従来除去することが困難であった都市部のマルチパスに起因する測位誤差を、絶対位置よりも精密に推定できる軌跡（相対的な移動量）を拘束条件として、その除去を行なっていることを特徴としている。文献9)では、都市部環境下においても、L1帯のGPS受信機と汎用IMUの組み合わせで、5m以下の測位精度を95%で達成し、2DRMS 6.3mの位置精度を実現している。

しかし、文献9)の手法では、Tightly Coupled GNSS/IMUの手法と同様に、疑似距離の段階で軌跡を統合しているため、受信機の時計誤差の変動を精密に推定する必要がある。文献9)では、時計誤差を1次式のモデルとして推定をしているが、汎用的なGNSS受信機では水晶時計が使用されており、実際の誤差の変動は正確には1次式ではなく、また、その精密なモデル化は困難であることが知られている。そのため、利用できる直前の走行軌跡の長さが制限されてしまう課題がある。しかし、マルチパスの影響を除去した、誤差平均が0に近い疑似距離の誤差を平均化することができるため、理論上は軌跡長を長くすることで、測位精度をさらに向上させることができるかと予想できる。

3. 提案手法

3.1 提案手法の概要

そこで、提案する手法では、マルチGNSSにより、測位の利用性が格段に向上した背景を受け、疑似距離の段階で軌跡を統合するのではなく、測位結果の段階で軌跡を統合する。そして、意図的に受信機の時計の誤差変動の推定しないことで、より長距離の軌跡を利用することを可能にし、測位精度の向上を狙う。加えて、軌跡を推定する場合にも、観測値であるドップラシフト周波数の段階でIMUと統合するのではなく、ドップラシフト周波数から推定した速度ベクトルと、IMUを統合することで、受信機の時計誤差のドリフト量も、同様に意図的に推定をしない手法を選択する。

ここで、Fig. 1に提案する手法の概要を示す。入力に用いるのは、GNSS受信機で推定した測位結果、および、速度ベクトル、IMUからの角加速度、そして、車輪速である。また、提案する手法では、“方位角とIMUのヨーレイト誤差”を逐次的に推定する特徴をもつ。そのため、高精度なIMUを利用する必要がなく、安価なMEMS IMUを利用したとしても、都市部で高精度な位置推定が可能である。さらに、GNSS受信機も、長距離の軌跡を活用し、平均化の効果を最大限利用するため、安価なL1帯のみの受信機でよい特徴がある。

なお、提案手法の位置推定および軌跡の推定では、マルチパ

Fig. 1 Overview of our proposal

スを除いた測位結果と、速度ベクトルの推定値の誤差平均が0であれば、解のばらつきは許容できるため、受信機によってフィルタリングされた解ではなく、単純な最小二乗法によって推定された測位解および、速度ベクトルを利用する。そのため、オープンソースソフトウェアであるRTKLIB¹⁴⁾により計算した測位結果、および、速度ベクトルの推定値を利用する。

3.2 車両軌跡の推定

提案手法では、軌跡の精度が重要となる。そこで提案手法では、方位角を推定し、速度とあわせて軌跡の推定を行なう。加えて、車輪速の誤差をスケールファクタとして推定することで速度の高精度化を行なう。3.2節では、車輪速スケールファクタ、方位角の推定に関し、その手法の説明を行なう。

3.2.1 車輪速誤差の推定

車輪速センサは駆動軸の回転数とタイヤ径から、走行距離、速度を算出している。しかし、車輪速には、基準に対する実際のタイヤ径の比などから誤差が含まれている。ここで、特に支配的な誤差要因になるタイヤ径の比の補正を、本来の速度にかかるスケールファクタ SF と仮定すると、実際の速度 $\bar{V}$ は、計測された車輪速 V_{wheel} に対し、(1)式のように表わされる。

$$\bar{V} = V_{\text{wheel}} \cdot SF \quad (1)$$

一方、衛星からの信号の受信が良好な環境では、GNSSドップラを用いて推定した速度 V_{gnss} が高精度であることが知られている⁴⁾。そのため、良環境において V_{gnss} は実際の速度 $\bar{V}$ とみなすことができる。その仮定の下では、 SF は(2)式で計算することができる。

$$SF(t) = \frac{V_{\text{gnss}}(t)}{V_{\text{wheel}}(t)} \quad (2)$$

ただし、 V_{gnss} は常に高精度であるとは限らない⁸⁾。しかし、 SF は動的に変動しにくいいため、一度推定した値を継続して用いても問題がない場合が多い。そのため、提案手法では、良好な環境下で、一定時間蓄積したGNSSドップラから推定した速度と車輪速を用いることで、ロバストな速度のスケールファクタの推定を行なっている。

3.2.2 方位角の推定

Fig. 2に方位角推定のフローを示す。提案手法では、GPS

Fig. 2 Over view of heading angle estimation

Fig. 3 The image of heading estimation with Doppler

だけで推定を行なう文献 10) で提案されている手法に対し、マルチ GNSS に拡張することで、ロバスト性/精度を向上させている。

また、Fig. 3 に GNSS ドップラから速度ベクトルを推定し、方位角 ψ_{gnss} を算出するイメージ図を示す。ここで、観測された GNSS ドップラシフト周波数より、衛星の方向線上の、車両の相対速度が得られる。衛星の速度は放送されているエフェメリスから算出できるため、複数の衛星からのドップラシフト周波数を用いることで、車両の速度ベクトルを推定することができる。そして、車両の速度ベクトルの平面成分から、方位角 ψ_{gnss} を算出する。詳細は文献 9), 10) を参照のこと。

ここで、Fig. 4 に提案手法の方位角推定の模式図を示す。提案手法では、現時点での時刻 t から過去の時刻 $t-k$ までの、ヨーレイト $\dot{\psi}$ 、および、GNSS ドップラから推定した方位角 ψ_{gnss} を蓄積し、統合することで、方位角 ψ_{init} の推定を行なっている。ここで、(3) 式から、 ψ_{init} を基準とし、蓄積したヨーレイトの積算によって、 ψ_{gyro} を得る。そして、(4) 式より、 ψ_{gnss} と ψ_{gyro} の二乗差の和が最小になるような、 ψ_{init} を推定する計算を行なう。加えて、マルチパスなどの影響に

Fig. 4 Heading angle estimation

Fig. 5 Yaw-rate offset estimation

Fig. 6 Heading and yaw-rate offset estimation

より、誤差が大きいデータを残差により除去し、再推定を繰り返すことで精度を高めている。また、衛星が観測できず、方位角が推定できていない地点は、IMU のヨーレイトにより補間を行なう。

$$\psi_{gyro} = \psi_{init} + \int_{t-k}^t \dot{\psi} dt \quad (3)$$

$$\psi_{init} = \operatorname{argmin} \sum (\psi_{gnss} - \psi_{gyro})^2 \quad (4)$$

ここで、方位角を推定する際には、入力 IMU のヨーレイトの誤差も問題となる。提案手法では、文献 10) の手法により推定した方位角を利用し、IMU のヨーレイトの誤差値をオフセット $\delta\psi$ として推定している。ここで、Fig. 5 にヨーレイトオフセット推定の概要を示す。具体的には、ヨーレイトオフセットは、ある時間における GNSS ドップラを用いて推定した方位角と、その間での IMU のヨーレイトの積算との差が 1 次近似できると仮定し、直線の傾きをヨーレイトオフセット $\delta\psi$ として推定する。

一方、ヨーレイトの誤差の推定には方位角が必要であるという因果性の課題がある。そこで、Fig. 6 のように、ヨーレイトの誤差値を推定した後に、再度、方位角の推定を繰り返すことで、より高い精度の方位角を得る手法を採用している。

3.3 軌跡を利用した位置の推定

提案手法では、推定した方位角を用いて直前の相対的な移動量である軌跡を推定し、その形状を拘束条件にして、現在の位置の推定を行なう。ここで、Fig. 7 に提案する位置推定

Fig. 7 Overview of our proposed positioning technique

Fig. 8 Overview of calculate trajectory

手法の概要を示す。

ここで、提案手法では (5) 式から、現時点の時刻 t より、過去の時刻 $t-k$ までの速度ベクトルに時刻の差分 dt を、要素ごとに積算することで得られる相対的な移動量を、ある位置 B または、1 つ前に計算した軌跡 T から減算することで、時刻 t から $t-k$ までの軌跡 T を得ている。また、Fig. 8 に軌跡 T の概要を示す。つぎに、(6) 式より、軌跡 T と GNSS 測位結果の二乗差の和が最小になるよう、位置 B を推定する計算を行なう。

$$\{T^{t-k}\} = \begin{cases} B & (k=0) \\ T^{t-k+1} - V^{t-k} \cdot dt^{t-k} & (\text{other}) \end{cases} \quad (5)$$

$$B = \operatorname{argmin} \sum_{i=t-k}^t ((P_e^i - T_e^i)^2 + (P_n^i - T_n^i)^2 + (P_u^i - T_u^i)^2) \quad (6)$$

$P(P_e, P_n, P_u)$: GNSS 測位結果

$T(T_e, T_n, T_u)$: 軌跡

$B(B_e, B_n, B_u)$: 推定位置

$V(V_e, V_n, V_u)$: 速度

Fig. 9 An example of positioning result

(6) 式により得られた推定位置から生成した軌跡と、GNSS 測位結果を比較し、残差が最大値になる GNSS 測位結果を棄却し、再度、位置を推定する。これを繰り返し、残差の最大値が閾値以下になった場合は、不良な GNSS 測位結果を棄却することができたと判断し、推定した位置を出力する。なお、本論文では、高さ方向の変動は 0 としている。ただし、(5)、(6) 式は、高さ方向の速度を推定することで、高さ方向の位置推定も可能であることを示している。

ここで、Fig. 9 に名古屋駅付近の高層ビル街での位置推定の様子を示す。Fig. 9 (a) は GNSS 測位結果の選定を行わずに位置推定した結果で、実際の走行経路に対して外れた位置推定がなされている。Fig. 9 (b) は GNSS 測位結果を選別し、位置推定した結果である。Fig. 9 より、GNSS 測位結果の外れ値を除去したことによって、高精度な位置を得られていることがわかる。

また、GNSS 測位結果を棄却した結果、あまりに測位数が少ないと、良好な推定は期待できない。そのため、GNSS 測位結果の数がある一定数を下回った場合、位置の推定を中断し、前回の推定位置からの軌跡で補間する手法を採用する。

4. 評価試験

4.1 評価試験の概要

提案手法の有効性を確認するため、車両で評価試験を行なった。試験は、名古屋大学付近の郊外路、および、名古屋駅付近の高層ビル街（マルチパスが発生しやすい場所）で実施した。また、GNSS 受信機は、広く利用されている汎用的な高感度 GNSS 受信機である U-blox 社の M8T を、GPS、BeiDou、QZSS の衛星システムを 10 Hz で受信する設定で利用した。また、IMU は汎用的な MEMS IMU が内蔵されている、多摩川精機製 TAG264 のヨーレイトだけを利用し、車輪速は、車両に設置されている車輪速計の値を用いた。ここで、方位角推定 (Fig. 2) と位置推定 (Fig. 7) の残差判定に用いられる閾値は、それぞれ実験的に設定し、3.0 度、3.0 m の値を用いた。

なお、精度評価のためのリファレンスの位置、姿勢、速度

Fig. 10 Evaluation route in suburban road (3.7 km)

Fig. 11 Heading angle in suburban road

には、地図作成などに用いられる、高精度な位置推定が可能である MMS (Mobile Mapping System) を利用した。なお、提案する位置推定手法では、測位結果を入力とするが、その測位計算の手法は限定されない。そこで、本論文では、相対測位 (D-GNSS: L1-Differential-GNSS) の結果を用いて、位置精度の検証をする。

4.2 郊外路での評価結果

Fig. 10 に比較的衛星測位の精度が良好になる、郊外路の 3.7 km の評価経路を示す。この評価経路において、方位角、絶対位置の評価を行なった。

ここで、Fig. 11 に方位角推定の評価結果を示す。Fig. 10 の評価経路での方位角誤差の平均は 0.1 度、標準偏差は 0.3 度となった。また、Fig. 11 において、一部の誤差の量が多くなっているが、これは、場所によって方位角が推定される頻度が異なり、また、IMU のヨーレイトで補間している区間が長くなると、特定の場所の影響が大きくなるためであると考えられる。

つぎに、Fig. 12 に位置の評価を行なった結果を示す。Fig. 12 では、利用する軌跡の距離を 20~500 m の範囲に変化させ、その位置精度の比較を行なった。つまり、(5) 式において、利用する軌跡の長さだけ遡るために必要な秒数 k を、各推定タイミングで計算して、位置の推定に利用している。Fig. 12 より、提案する手法では、2DRMS が 1.5 m を下回り、レーンレベルの位置推定が可能であることが確認できる。

Fig. 12 Position 2DRMS and MAX error in suburban road

Fig. 13 Position 2D error in suburban road

一方、軌跡の長さを増加させるにつれ、誤差が増加する傾向が見られる。提案手法では、軌跡の誤差を無視すれば、利用する軌跡の距離が長いほどに測位誤差の棄却率は高まる。しかし、利用する軌跡の誤差は 0 ではない。そのため、利用する軌跡を長くすると、同時に軌跡のもつ誤差の影響も増加する。ここで、Fig. 12 の結果では、最悪値と 2DRMS を見ると、80 m の軌跡が最適な長さとなる。

また、Fig. 13 に、郊外路における提案手法の、2次元の位置誤差を示す。Fig. 13 では、後述する都市部での結果と合わせ、300 m の軌跡長を用いた結果に注目し、比較対象として D-GNSS の位置誤差と、Kalman Filter による推定位置の誤差を表示している。Fig. 13 から、Kalman Filter ではマルチパスの影響を受け、誤差が増大しているのに対し、提案手法では、長距離 (100 m 以上) の軌跡を利用することにより、平均化の効果を利用した位置の高精度化の効果ができると考えられる。

4.3 都市部環境での評価

つぎに、Fig. 14 に高層ビル街である名古屋駅付近の 2.7 km の評価経路のようすを示す。

ここで、Fig. 15 に方位角推定の評価結果を示す。Fig. 14 の評価経路では方位角誤差の平均が 0.1 度、標準偏差 0.4 度となった。しかし、Fig. 15 では正規分布にはなっていない。

Fig. 14 Evaluation route in urban road (2.7 km)

Fig. 15 Heading angle in urban road

Fig. 16 Position 2DRMS and MAX error in urban road

これは、都市部ではマルチパスの影響が強いためであると考えられる。

また、Fig. 16 に、利用する軌跡の長さを 100～800 m の範囲で変化させ、位置精度の比較を行なった結果を示す。Fig. 16 では、郊外路の結果である Fig. 12 と比較して、長距離の軌跡を利用したことで、郊外路相当の位置精度を都市部においても実現できていることが確認できる。特に、300 m の軌跡を利用した場合に、2DRMS が 0.9 m になることが確認できる。ここで、Fig. 16 では Fig. 12 と同様に、軌跡の距離が伸びるにつれ、誤差が増加していくようすが見られる。また、郊外路に対してマルチパスが増加する都市部では、長距離の軌跡

Fig. 17 Position 2D error in urban road

Fig. 18 Typical position result for the urban area case

を用いなければ、測位誤差の影響を棄却しきれないようすも見られる。走行する環境によって最適な軌跡長は変化するため、環境に応じた軌跡長の決定が課題となる。

ここで、Fig. 17 に、300 m の軌跡を利用したときの 2 次元の位置誤差を示す。Fig. 17 より、長距離の軌跡を利用しマルチパスを棄却することで、都市部でも郊外路と同様に、位置の高精度化を達成していることが確認できる。今回利用している軌跡は、100 m あたり 0.5 m 程度の誤差が発生する¹⁵⁾ため、300 m 程度が最適値になったと考えられる。また、文献 9) では、都市部において 2DRMS が 6.3 m を達成しているのに対して、提案手法では、GNSS への拡張と、長距離の軌跡の利用によって、都市部における位置精度が大幅に向上できている。

また、Fig. 18 に提案手法の効果が典型的に表われている、高架下 (Fig. 14 の A 区間) の位置推定結果を示す。Fig. 18 より、GNSS 測位結果が取得できない場合の位置を軌跡によって補完することで、高架下を脱した場合でも、位置の誤差を約 1 m 以内で推定できていることが確認できる。

さらに、Fig. 19 に D-GNSS と Kinematic の測位解およびそれぞれの測位解を利用した提案手法の精度を示す。Fig. 19 より、より高精度な測位解が得られるとされている Kinematic

Fig. 19 2D error rate in urban road

測位よりも、D-GNSSのほうが提案手法との相性が良いことが確認できる。ここで、Kinematic 測位では、ばらつきの誤差が少なく、かつ、整数不定性の推定を連続して失敗した場合、バイアス性の誤差が連続して発生しやすい特徴がある。そのため、Kinematic 測位は、提案手法の特徴である平均化の効果が発揮されにくくなっていると考えられる。対して、D-GNSS では逐次的に測位計算が行なわれるため、バイアス性の誤差が長距離で連続に発生しにくい。そのため、数百 m の軌跡を利用することで、十分に平均化の効果を発揮できていると考えられる。

5. 結 言

本研究では、GNSS ドップラにより推定した車両軌跡の精度が高いことを利用し、衛星の環境が劣化する都市部においても、車両運動をロバストに推定し、さらに GNSS の測位結果を選定することで、位置精度を向上可能な手法の提案を行った。提案する手法は、意図的に受信機の時計誤差の変動を推定しないことにより、長距離（数百 m）の軌跡を利用可能にし、平均化の効果により、位置推定精度を向上可能な特徴をもつ。評価試験では、低コストな GNSS と MEMS IMU を用いつつも名古屋駅付近の高層ビル街において、2DRMS が 0.9 m となることを確認し、提案手法の有効性を確認した。

参 考 文 献

- 1) G. Ros, S. Ramos, M. Granados, A. Bakhtiary, D. Vazquez and A.M. Lopez: Vision-based offline-online perception paradigm for autonomous driving, Proc. IEEE WACV, 231/238 (2015)
- 2) B. Schwarz: Lidar: Mapping the world in 3D, Nat. Photon., 4-7, 429/430 (2010)
- 3) J. Meguro, T. Murata, J. Takiguchi, Y. Amano and T. Hashidume: GPS multipath mitigation for urban area using omnidirectional infrared camera, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 10-1, 22/30 (2009)
- 4) Y. Kojima: Precise localization using tightly coupled integration based on trajectory estimated from GPS Doppler, Proc. AVEC 2010, 168, 1/6 (2010)
- 5) J. Meguro: Automotive positioning based on bundle adjustment of GPS raw data and vehicle trajectory, The 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 1005/1011 (2011)
- 6) M.M. Atia, A.R. Hilal, C. Stelling, E. Hartwell, J.

Toonstra, W.B. Miners and O.A. Basir: A low-cost lane-determination system using GNSS/IMU fusion and HMM-based multistage map matching, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 8-11, 3027/3037 (2017)

- 7) M. Wang, G. Feng, H. Yu, Y. Li, Y. Yang and X. Xiao: A loosely coupled MEMS-SINS/GNSS integrated system for land vehicle navigation in urban areas, IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES) (2017)
- 8) K. Takeyama, Y. Kojima and E. Teramoto: Trajectory estimation improvement based on time-series constraint of GPS Doppler and INS in urban areas, Proc. IEEE/ION PLANS 2012, 700/705 (2012)
- 9) J. Meguro: Positioning technique based on vehicle trajectory using GPS raw data and low-cost IMU, International Journal of Automotive Engineering, 3-2, 75/80 (2012)
- 10) 目黒, 小島, 鈴木, 寺本: GPS ドップラと慣性センサの統合による車両軌跡推定手法の提案, 情報処理学会論文誌, 53-1, 212/222 (2012)
- 11) 平野, 天野, 服部, 小野, 福田, 廣瀬: GPS と慣性センサを利用した車両姿勢推定, 自動車技術会論文集, 46-2, 407/412 (2015)
- 12) N. Sünderhauf and P. Protzel: Towards a robust back-end for pose graph SLAM, 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (2012)
- 13) L.-T. Hsu: GNSS multipath detection using a machine learning approach, 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (2017)
- 14) T. Takasu: RTKLIB, <http://www.rtklib.com/>
- 15) 水谷俊介: GNSS と MEMS IMU によるロバストな車両方位角・ピッチ角の推定, 測位航法学会全国大会 (2018)

[著 者 紹 介]

荒 川 拓 哉

2017 年名城大学理工学部メカトロニクス工学科卒業。2018 年より、名城大学理工学研究科メカトロニクス工学専攻所属。衛星測位を用いた車両位置推定に関する研究に従事。日本機械学会学生会員。

高野瀬 碧 輝

2015 年より、名城大学理工学部メカトロニクス工学科所属。GNSS と車両運動の統合による絶対値推定の高精度化に関する研究に従事。日本機械学会学生会員。

水 谷 俊 介

2017 年名城大学理工学部メカトロニクス工学科卒業。2018 年より、名城大学理工学研究科メカトロニクス工学専攻所属。衛星測位、慣性センサ統合による運動推定に関する研究に従事。

滝川 叶夢

2015 年より、名城大学理工学部メカトロニクス工学科所属。慣性センサを活用した車両姿勢推定に関する研究に従事。

目 黒 淳 一 (正会員)

2008 年早稲田大学理工学研究科博士課程修了。博士(工学)。同年(株)豊田中央研究所勤務。2017 年より、名城大学理工学部メカトロニクス工学科准教授。移動体に適用する運動/位置推定、および地図生成/更新に関する研究に従事。日本機械学会員。

|||||